新疆绿洲土地利用隐性形态与土地生态安全协调特征
——以伊犁河谷为例

郝潘潘， 刘志有

（新疆农业大学公共管理学院（法学院），新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：伊犁河谷是维护新疆土地生态安全的重要生态保障区，其土地利用与土地生态安全相协调对区域可持续发展有重要意义。以2005—2020年土地利用数据为基础，采用综合指数模型、改进的耦合协调度模型和灰色关联度模型等方法对伊犁河谷2005—2020年土地利用隐性形态、土地生态安全时空特征以及两者协调特征进行研究。结果表明：（1）2005—2020年伊犁河谷各县市土地利用隐性形态指数总体上缓慢提升，大体呈现以伊宁市为中心，向四周辐射降低的发展态势。（2）2005—2020年伊犁河谷土地生态安全水平表现为波动增长趋势，并与土地利用隐性形态变化密切相关。（3）2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全为高耦合关系，中心城市协调性高于边缘城市。（4）伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全协调发展程度主要受土地产出效益、土地开发强度、土地产权变化和生态环境的影响。

关键词：土地利用隐性形态；土地生态安全；耦合协调；伊犁河谷

土地系统科学（LSS）和土地利用变化（LUCC）是全球变化研究热点问题之一[1-2]，已有学者对不同尺度的土地利用变化引起的环境效应和土地生态安全进行研究。Zou等[3]认为人类活动和全球变化对土地利用转型有重要影响，Wang等[4]在此基础上运用元胞自动机研究中国土地利用变化引起的生态环境效应，王鹏等[5]则研究拉萨河流域近30 a土地利用变化和生境质量的时空演变。在“绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力”的新时代主题下，平衡土地利用和生态保护之间的关系成为实现生态优先和绿色发展的重要环节，土地利用与土地生态安全协调发展显得尤为迫切。

土地利用主要涵盖显性形态和隐性形态两种类型。土地利用隐性形态是表现在土地投入、产出和开发利用强度等多种内部属性的非显性形态。土地利用隐性形态作为土地利用转型研究的新途径[6-7]，为多角度、深层次解读土地利用变化内涵提供新思路。国外学者多针对土地利用变化及转型进行研究，Biłozor等[8]基于摄影测量数据分析在直接城市化压力下区域土地利用变化动态。Gupta等[9]利用机器学习算法分析米佐拉姆地区土地利用变化。学者Jabbar等[10]和Biney等[11]分析并预测城市土地利用变化及其对环境的影响。近年来，国内逐渐重视土地利用隐性形态研究，有学者围绕土地利用隐性形态指数及其形态高级性展开研究[12-14]，乔伟峰等[15]分析村域土地利用转型过程与机理。土地利用转型影响着土地生态安全，国内外学者从多层面对土地生态安全进行研究，涉及评价方法[16-17]、指标体系[18-19]以及障碍因子诊断[17]等方面，对土地生态安全的研究体系较为成熟。国内外学者将土地利用隐性形态和土地生态安全作为独立系统研究，切入点多是宏观角度，干旱区绿洲研究甚少，且对土地利用转型研究偏显性少隐性，缺乏针对土地利用隐性形态和土地生态安全二者的协同研究，土地利用隐性形态变化引起的土地生态安全变化并非完全线性相关，不同时期土地利用隐性形态变化是否显著影响土地生态安全变化仍是目前研究需

收稿日期：2024-04-09； **修订日期：**2024-07-09
基金项目：新疆维吾尔自治区高校科研计划项目（XJEDU2019SY011）
作者简介：郝潘潘（2002-），女，硕士研究生，主要从事土地资源利用与管理研究. E-mail: xj13579601629@163.com
通讯作者：刘志有. E-mail: 987zy789@163.com

探索的方向。

伊犁河谷作为亚欧大陆干旱地带的“湿岛绿洲”,是新疆生态调节和经济发展的枢纽。然而频繁的人类活动造成伊犁河谷部分自然生态系统失调,土地功能退化,如何保障干旱区绿洲土地生态系统安全与稳定,是干旱区亟待解决的问题。因此,本文从县域层面入手,构建伊犁河谷土地利用隐性形态和土地生态安全指标体系,在分析2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态和土地生态安全时空演变基础上,利用改进的耦合协调模型探究土地利用隐性形态和土地生态安全的协调发展关系,并通过灰色关联模型分析影响二者协调发展的因素,深入了解土地利用隐性形态变化规律及与土地生态安全二者协调发展状况,为干旱区土地资源可持续利用及合理配置提供依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

伊犁河谷地处我国新疆天山山脉西部,总面积约5.64×10^4 km^2,辖伊犁哈萨克自治州8县1市,是古丝绸之路的北道要塞,其南部的那拉提山,北部的科古琴山以及中部的乌孙山等构成了“三山夹两谷”的地貌轮廓(图1);年平均气温10.4 ℃,冬冷夏热,是典型的温带大陆性气候;年平均降水量417.6 mm,是新疆最湿润的地区,素有“西域湿岛”之称。

1.2 数据来源

本研究涉及的生态系统服务价值基于2005—2020年伊犁河谷土地利用数据测算,空间分辨率为30 m,来源于武汉大学土地利用CLCD数据集。社会经济数据与生态环境数据来源于《新疆维吾尔自治区统计年鉴》(2006—2021年)、《伊犁哈萨克自治州统计年鉴》(2006—2021年)、伊犁州国民经济和社会发展统计公报以及其他相关部门统计调查资料。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用隐性形态指数评价 基于土地利用隐性形态内涵,从土地投入水平、产出效益、产权变化和开发强度四个层面构建指标体系(表1),反映土地利用隐性形态[7,12,14]。土地利用隐性形态指数取值[0, 1],数值越大则土地利用隐性形态越高级[8]。计算公式如下:

$$L = \sum_{i=1}^{n} u'_i w_i \tag{1}$$

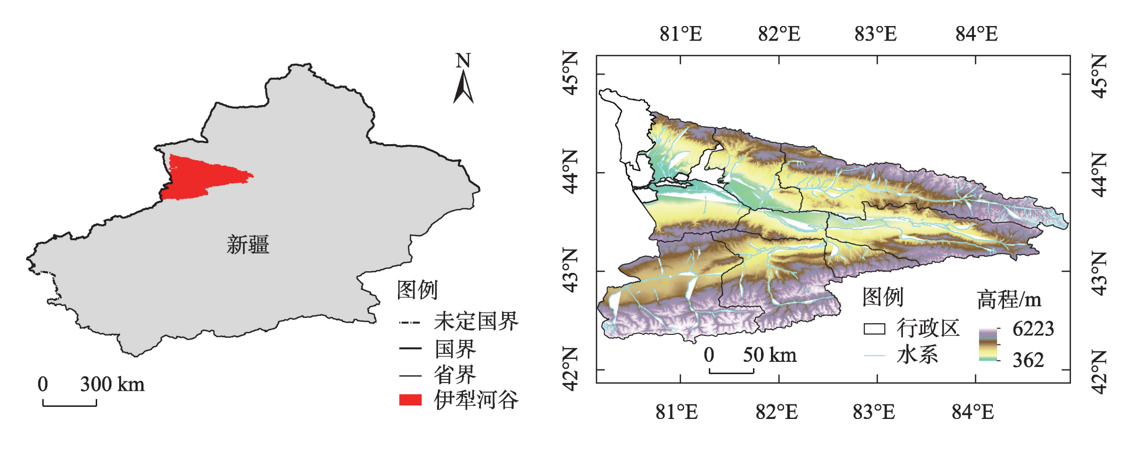
式中:L为土地利用隐性形态指数,u'_i为第i项指标的标准化值,w_i为第i项指标的权重[8],为弥补单一赋权带来的不足,采用主观赋权法(AHP)和客观赋权法(熵权法)相结合的组合赋权方法测算。

最终权重计算为:

$$w_i = \frac{\sqrt{w_{1i} w_{2i}}}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{w_{1i} w_{2i}}} \tag{2}$$

式中:w_{1i}为AHP法测算权重,w_{2i}为熵权法测算权重。

1.3.2 土地生态安全指数评价 基于土地生态安全内涵,从环境和生态两个层面构建指标体系(表2),反映伊犁河谷土地生态安全水平[20–22]。其中生态系统服务价值运用当量因子法,参考谢高地等[23]、Rob-



注:底图采用自然资源部标准地图制作,审图号为GS(2021)5448号,对底图边界无修改,下同。

图1 研究区示意图

Fig. 1 Study area diagram

表1　土地利用隐性形态指标体系

Tab. 1　Recessive form index system of land use

类型	指标	属性	权重
土地投入水平	地均固定资产投资/(元·km^{-2})	+	0.162
	地均公共财政预算支出/(元·km^{-2})	+	0.150
土地产出效益	地均GDP(/元·km^{-2})	+	0.154
	地均二三产业产值/(元·km^{-2})	+	0.167
土地产权变化	城镇化率/%	+	0.014
土地开发强度	人口密度/(人·km^{-2})	+	0.143
	地均就业人员/(人·km^{-2})	+	0.136
	地均用电量/[(kW·h)·km^{-2}]	+	0.074

注:“+”表示指标对土地利用隐性形态具有正向影响。

表2　土地生态安全指标体系

Tab. 2　Land ecological security index system

类型	指标	属性	权重
环境	地均工业废水排放/(t·km^{-2})	–	0.404
	地均二氧化硫排放/(t·km^{-2})	–	0.391
生态	造林面积/(hm^2)	+	0.168
	地均生态系统服务价值/(元·km^{-2})	+	0.037

注:“+”表示指标对土地生态安全具有正向影响,“–”表示指标对土地生态安全具有负向影响。

ert等[24]生态服务价值量化进行测算。计算公式如下:

$$f(x)=\sum_{i=1}^{n}a'_iX_i \tag{3}$$

式中: $f(x)$为土地生态安全指数,取值[0,1],数值越大土地生态安全水平越高; a'_i为土地生态安全第i个指标权重,由公式(2)确定; X_i为土地生态安全第i个指标经标准化处理后的指标值。

1.3.3 *改进的耦合协调模型*　传统耦合协调度模型是以横向比较的方式评估研究对象间的差异,无法准确反映各研究对象在时间上的动态变化差异。借鉴相关研究成果并进行改进,对传统耦合协调度模型进行修正,增加时序动态变化差异的考量[25–28],公式如下:

$$U'_{gy}=U_{gy}\times\left(1-R_g\right)^{y_{\max}-y} \tag{4}$$

$$r_{iy}=\frac{\left(\overline{X_{iy}}-\overline{X_{i(y-1)}}\right)}{\overline{X_{i(y-1)}}},\quad R_1=\frac{\sum_{y=y_{\min}}^{y_{\max}}\sum_{i=1}^{m}a_ir_{iy}}{y_{\max}-y_{\min}} \tag{5}$$

$$r_{jy}=\frac{\left(\overline{X_{jy}}-\overline{X_{j(y-1)}}\right)}{\overline{X_{j(y-1)}}},\quad R_2=\frac{\sum_{y=y_{\min}}^{y_{\max}}\sum_{j=1}^{n}a_jr_{jy}}{y_{\max}-y_{\min}} \tag{6}$$

式中:y为年份,为2005年、2010年、2015年和2020年; $\overline{X_{iy}}$、$\overline{X_{jy}}$分别为伊犁河谷9个县市土地利用隐性形态和土地生态安全两系统各指标数据; r_{iy}、r_{jy}分别为土地利用隐性形态和土地生态安全系统得分的发展调整系数; U_{gy}为第g个系统在第y年的得分,g=1,2; U'_{gy}为调整后的系统得分值,得到U'_{gy}后代入耦合协调模型公式:

$$C=\left[U_1\times U_2/\left(\frac{(U_1+U_2)}{2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

式中:$C\in(0,1)$,C越大则耦合状态越好,反之越差。

$$T=\alpha M(x)+\beta N(y) \tag{8}$$

式中:T为系统综合得分; α和β为待定系数,$\alpha+\beta=1$; $M(x)$、$N(y)$分别代表土地利用隐性形态水平和土地生态安全综合水平。

为反映耦合协调状况的好坏,引入耦合协调度模型D,计算公式如下:

$$D=(C\times T)^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

将耦合协调度用均匀分布函数法划分等级(表3)。

表3　耦合协调等级划分

Tab. 3　Coupling coordination hierarchy

耦合协调等级	耦合协调度取值	耦合协调等级	耦合协调度取值
极度失调	0.000≤D≤0.125	勉强协调	0.500<D≤0.625
中度失调	0.125<D≤0.250	初级协调	0.625<D≤0.750
轻度失调	0.250<D≤0.375	中级协调	0.750<D≤0.875
濒临失调	0.375<D≤0.500	高级协调	0.875<D≤1.000

1.3.4 *灰色关联度模型*　灰色关联度能够分析出影响复合系统的主要因素及次要因素。指标关联度越大,说明该指标对复合系统耦合协调度影响越大,反之越小[29]。

进行灰色关联分析的参考序列和比较序列为:

$$X_0=\left\{x_0^1,x_0^2,\cdots,x_0^n\right\} \tag{10}$$

$$X_i=\left\{x_i^1,x_i^2,\cdots,x_i^n\right\} \tag{11}$$

式中: X_0为参考序列,是伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调度; X_i为比较序列,是评价指标体系中的各项指标。

计算参考序列和比较序列灰色关联系数:

$$\xi_i^k=\frac{\Delta_{\min}+\rho\Delta_{\max}}{\Delta_i^t+\rho\Delta_{\max}} \tag{12}$$

式中：Δ_{max}、Δ_{min} 表示各项最大差以及最小差；ρ 代表分辨系数，取值[0，1]，ρ=0.5.

计算灰色关联度：

$$E_i^k = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\xi_i^k \tag{13}$$

根据灰色关联度，对关联性等级进行划分(表4)。

表4 关联性等级划分

Tab. 4 Relevance hierarchy

关联度取值	关联性等级
0.00≤E≤0.20	不相关
0.20<E≤0.40	弱相关
0.40<E≤0.60	中度相关
0.60<E≤0.80	较强相关
0.80<E≤1.00	强相关

2 结果与分析

2.1 伊犁河谷土地利用隐性形态变化特征

将2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态指数可视化(图2)，表明处于低值区的县市在持续减少。2005年伊犁河谷土地利用隐性形态指数整体处于较低值区，各县市间相差不大；2010年伊犁河谷土地利用隐性形态指数缓慢上升，其中上升趋势最大的是伊宁市，伊宁县和霍城县得益于伊宁市发展，两县土地利用隐性形态指数提升一个档次；2015年伊犁河谷土地利用隐性形态指数稳步提高，伊宁市带动伊宁县首先进入土地利用隐性形态指数次高值区，霍城县进入中值区行列，其余县市变化不大；2020年随着伊犁河谷土地经济功能和社会功能多元化，土地利用隐性形态更为高级，伊宁市最大指数达0.8。巩留县和新源县处于次高值区，土地利用隐性形态指数已达0.374、0.396，而特克斯县和昭苏县仍处于低值区，但相较于上一阶段有稳步提高。

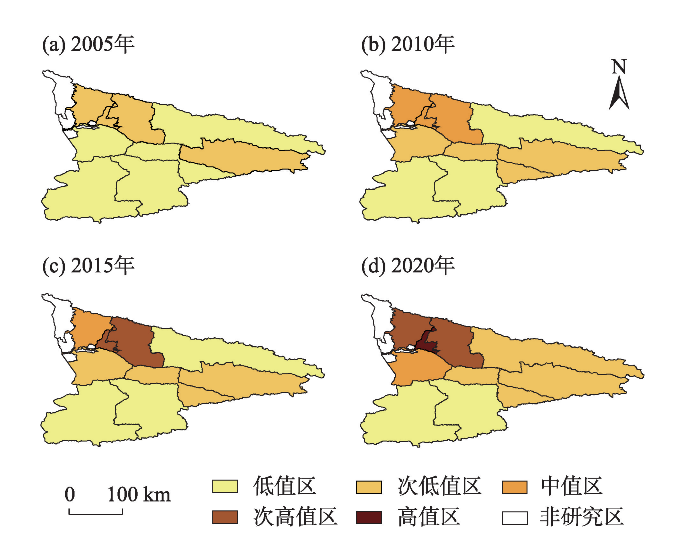


图2 伊犁河谷土地利用隐性形态指数时空变化

Fig. 2 Spatio-temporal variation of recessive form index of land use in Yili Valley

研究发现，伊犁河谷土地利用隐性形态指数分布呈现明显的阶段性特征，其变化趋势大体上呈现"J"字曲线(图3)。土地利用隐性形态变化之初，驱动力不足，提升低速；随着政策与技术的变革，受外界不同因素影响，逐渐推动土地利用隐性形态转变；当社会经济进入高速发展阶段时，给予土地利用隐性形态转变新动力，调整新格局，进行下一轮演变。

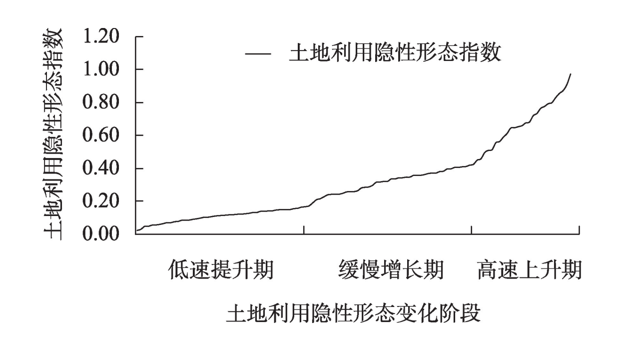


图3 伊犁河谷土地利用隐性形态转变

Fig. 3 Change of recessive form of land use in Yili Valley

2.2 伊犁河谷土地生态安全水平变化特征

2005—2020年伊犁河谷土地生态安全水平整体上表现为波动增长趋势。2010年前，大力发展煤炭、煤化工工业的同时，忽视生态环境，出现"经济增长、污染加重"的局面，土地生态安全水平呈现降低的态势。2010年后，随着"生态优先、绿色发展"的提出，土地产出能力与开发利用强度相辅相成，有富余资源保护生态环境，土地生态安全水平缓步提高。空间上，呈现"西南高，西北、东部低"的空间分布格局(图4)。

土地生态安全指数变化趋势与土地利用隐性形态变化阶段高度相关。"低速提升期"阶段土地利用隐性形态提升低速，对土地生态安全水平影响不大。"缓慢增长期"阶段土地利用隐性形态变化提升速度有所增加，此时由于忽视生态环境，导致土地

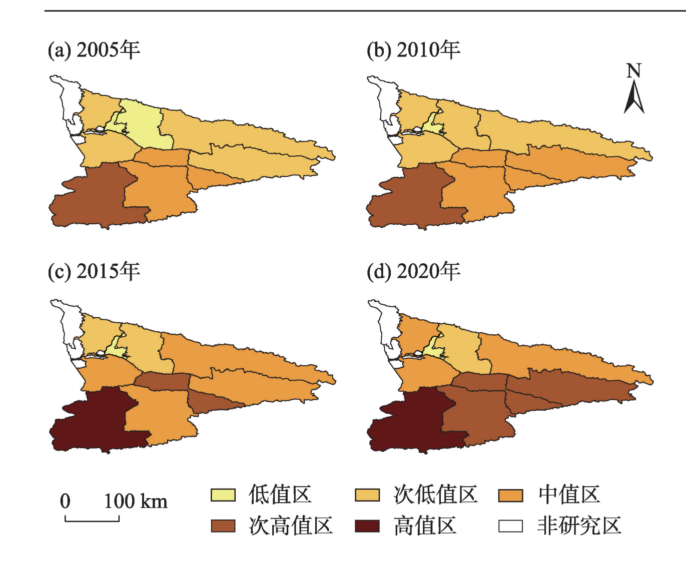


图4　伊犁河谷土地生态安全综合指数时空变化

Fig. 4　Spatio-temporal changes of land ecological security comprehensive index in Yili Valley

生态安全水平降低。"高速上升期"阶段土地利用隐性形态变化加速,土地生态安全受到威胁,但后期政府重视经济生态协调发展和土地资源可持续利用,提出生态文明建设,遏制生态环境继续恶化,土地生态安全指数有所回升。

2.3　伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全水平耦合协调分析

2.3.1　伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全水平耦合协调时序特征　2005—2020年伊犁河谷8县1市的土地利用隐性形态与土地生态安全耦合度及耦合协调度运用改进的耦合协调模型测算。2005—2020年伊犁河谷各县市的土地利用隐性形态与土地生态安全耦合水平处于缓慢波动时期,伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全的耦合度在0.8以上,二者存在高耦合关系(图5)。

2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全处于由失调向协调变化过程(图6),呈现"持续上升、差异波动、整体改善"趋势。2005年、2010年、2015年和2020年伊犁河谷9个县市土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调度的平均值分别是0.469、0.588、0.643和0.627。2005—2010年耦合协调度显著提升,在"十一五"时期,中央颁布的重要战略决策为争取国家资金和政策支持提供有力保障,显著促进伊犁河谷经济社会发展。这一时期,伊犁河谷各县市严格遵循平原绿化标准,改善生态状况,土地经济功能和社会功能逐步提升,二者协调程度迅速提高;2010—2015年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全的协调程度提升到了0.643,伊犁河谷主要污染物排放量逐渐下降,生态功能区的主导生态功能保持稳定,二者协调程度达到了最高水平;2015—2020年资金、人才、技术等要素短缺,再加上伊犁河谷生态环境脆弱,经济发展过程中,环境污染压力不断加大,对自然生态环境产生负面影响,制约土地功能与生态环境协调发展。

2.3.2　伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全水平耦合协调空间特征　伊犁河谷各县市土地利用隐性形态与土地生态安全水平耦合协调度呈现差异性,表现出中心城市协调性较好的格局(表5)。

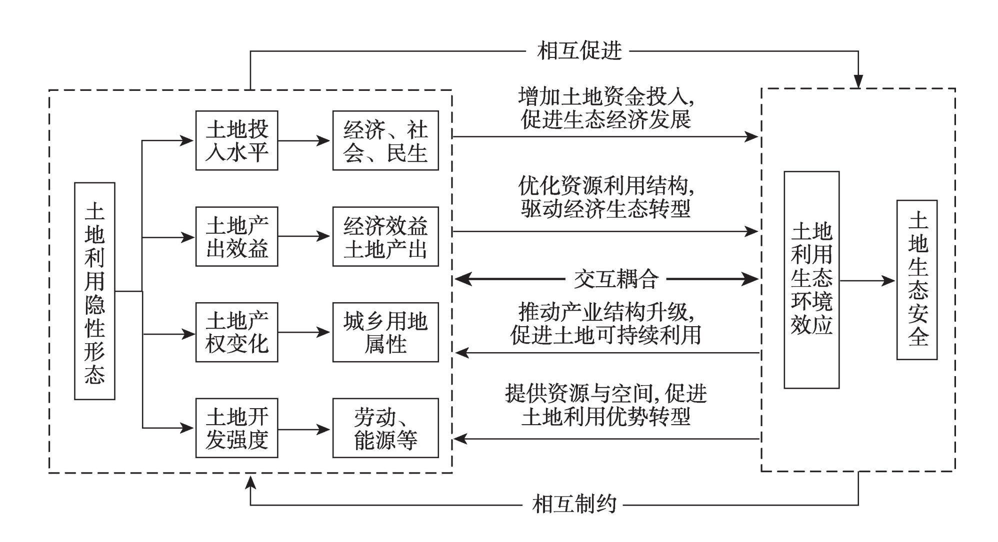


图5　土地利用隐性形态与土地生态安全协调机理

Fig. 5　Recessive form of land use and coordination mechanism of land ecological security

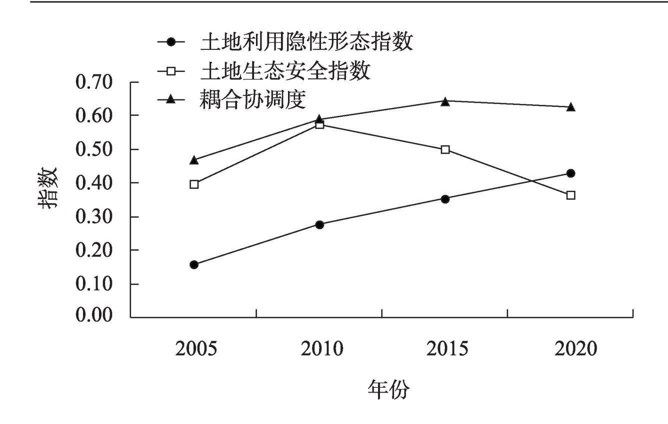


图6 伊犁河谷土地利用隐性形态、土地生态安全与耦合协调度趋势

Fig. 6 Trend of land use recessive form, land ecological security and coupling coordination degree in Yili Valley

伊宁市、霍城县、巩留县和新源县得益于自身资源禀赋和经济发展，不断进行产业结构升级转型，土地利用隐性形态发展协同于土地生态安全提高，一直处于协调状态，伊宁市由于其中心城市的地位，产业结构多元，协调度最高。伊宁县、察布查尔锡伯自治县、特克斯县受周边城市发展影响，2005—2020年不断进行经济优化改革，重视生态环境保护，2020年达协调状态。尼勒克县发展依托能源化工园区，开采加工焦炭、煤电和矿产资源，其土地生态安全提高滞后于土地利用隐性形态发展，处于失调状态，有待提升。

2.4 伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调的驱动力分析

选取伊犁河谷2005—2020年各项指标数据均值，测算伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调度各影响因素的灰色关联度，结合关联性等级划分(表4)。各因子对耦合协调度均有影响，但影响程度具有差异性(图7)。选取关联度大于0.6，即具有较强相关性以上的地均GDP、地均二、三产值、城镇化率、地均造林面积、地均生态系统服务价值、地均用电量和人口密度7项因子进行分析。

2.4.1 土地产出效益 地均GDP和地均二、三产值是直接衡量土地产出效益的指标，其共同反映土地利用隐性形态和土地生态安全之间的关系。从2005—2020年伊犁河谷地均GDP和地均二、三产值都在持续增长，这说明经济发展提升能够增强土地利用功能，推动土地利用隐性形态向更高级形态转变。地均二、三产值增加则表明经济正朝着高效绿色可持续发展方向发展，产业结构转型优化，有助于土地生态安全良性发展。二者综合推动土地利用隐性形态和土地生态安全同步协调发展。

2.4.2 土地开发强度 人口密度和地均用电量被看作土地开发强度的间接指标，反映劳动要素和能源要素对土地利用隐性形态和土地生态安全之间的关系。不同土地资源开发强度对生态环境影响各不相同。人口密度和地均用电量适度增加促进经济发展，而经济发展推动土地利用隐性形态转变，但同时也对生态环境造成不同程度影响，因此，在发展过程中需要根据实际情况制定不同开发策略，以最大限度地发挥土地生产力，推动经济发展，同时避免对生态环境造成破坏，确保生态系统平衡，实现生产可持续发展。两者适度增加并加以管制有助于土地利用隐性形态和土地生态安全良性协调发展，反之不利于二者协调发展。

2.4.3 土地产权变化 城镇化率是间接反映土地产权变化的指标，土地产权变化直接影响土地利用方

表5 伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调状况

Tab. 5 Coupling coordination between recessive form of land use and land ecological security in Yili Valley

	2005年		2010年		2015年		2020年	
	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
伊宁市	0.552	勉强协调	0.770	中级协调	0.889	高级协调	0.776	中级协调
伊宁县	0.571	勉强协调	0.460	濒临失调	0.761	中级协调	0.705	初级协调
新源县	0.523	勉强协调	0.612	勉强协调	0.727	初级协调	0.605	初级协调
尼勒克县	0.335	轻度失调	0.386	濒临失调	0.426	濒临失调	0.453	濒临失调
特克斯县	0.361	轻度失调	0.497	濒临失调	0.488	濒临失调	0.501	勉强协调
察布查尔锡伯自治县	0.500	濒临失调	0.761	中级协调	0.678	初级协调	0.715	中级协调
巩留县	0.535	勉强协调	0.697	初级协调	0.605	勉强协调	0.658	初级协调
霍城县	0.573	勉强协调	0.714	初级协调	0.805	中级协调	0.798	中级协调
昭苏县	0.275	轻度失调	0.392	濒临失调	0.407	濒临失调	0.433	濒临失调

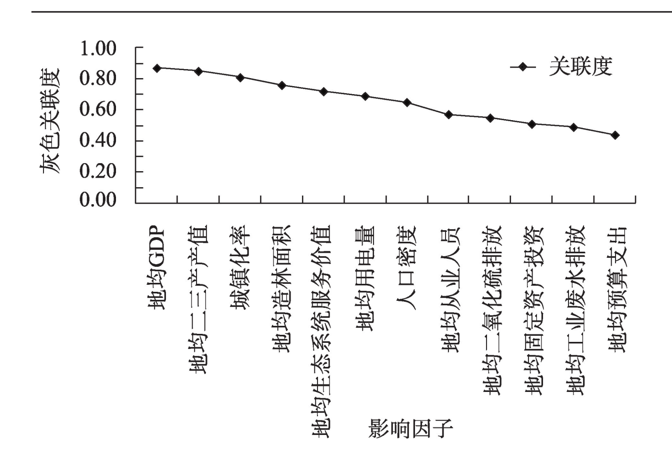


图7　基于灰色关联度模型的因子影响程度分析

Fig. 7　Factor influence degree analysis based on grey relational degree model

式、管理方式和制定过程，城镇化促进土地资源重新配置和利用，进而影响土地利用形态。城镇化发展导致一些城市为兴建工业开发区，缺乏防污治污措施，造成生态环境污染，使得土地污染加剧。因此，在推进土地可持续利用和保护土地生态环境过程中，必须充分重视土地产权变化对土地利用形态和土地生态安全影响，并制定相应的政策和措施来引导和规范。城镇化率促进土地利用形态转变，但制约着土地生态安全。

2.4.4　土地生态环境　地均造林面积和地均生态系统服务价值是土地生态环境的直接体现。土地生态环境不仅影响土地生态安全，也是土地利用发展基础和保障，从物质基础上决定土地利用隐性形态的发展态势。土地生态环境和土地利用相互依存、相互制约，共同影响着土地利用隐性形态和土地生态安全。研究期内伊犁河谷地均造林面积和地均生态系统服务价值稳步上升，良好的生态环境为土地利用提供自然条件基础和保障，营造土地生态安全良好环境的同时促进土地利用形态转变。地均造林面积和地均生态系统服务价值的提升促进土地利用隐性形态和土地生态安全协调发展。

3　讨论

本文关注县域尺度上的土地利用隐性转型和土地生态安全，选取2005—2020年指标数据，试图掌握研究期内伊犁河谷各县市土地利用隐性转型和土地生态安全时空分异特征及规律，希望能够在土地资源短缺背景下，指导区域土地可持续高效利用。研究表明，二者协调度有待提升，需提出有针对性的解决措施，合理利用区域资源，实现转型促发展，带动干旱区绿洲区域朝向更为协调可持续方向发展。土地利用隐性形态变化方面，通过计算土地利用隐性形态指数结果，表明伊犁河谷土地利用隐性形态指数均值时间上呈现上升趋势，研究期内伊犁河谷土地利用隐性形态转变具有一定阶段性，经历“低速提升期”、“缓慢增长期”和“高速上升期”，与前人研究结论一致[7,12]。土地生态安全变化方面，运用综合指数模型对伊犁河谷土地生态安全进行评价，结果表明研究期内伊犁河谷土地生态安全水平表现为波动增长趋势。伊犁河谷土地生态安全变化与土地利用隐性形态转变阶段高度相关，土地利用隐性形态高速上升时期，土地生态安全指数下降；土地利用隐性形态低速提升时期，土地利用结构变化缓慢，对生态环境造成压力较小，土地生态安全指数较高。

本研究运用灰色关联模型对伊犁河谷土地利用隐性形态和土地生态安全协调发展进行驱动力分析。灰色关联模型的定量分析结果与定性分析结果通常一致，能够较好的反映出变量之间的实际关系。从模型结果来看，研究区土地利用隐性形态和土地生态安全协调发展度变化主要受社会经济状况和生态环境因素影响，这与天山北坡经济带向西延伸至伊犁，成为新的经济增长极，且进行生态功能管制分区划分相符合。

本文探讨伊犁河谷2005—2020年土地利用隐性形态与土地生态安全时空演变特征，同时运用改进的耦合协调模型研究二者协调发展状况，并基于灰色关联模型分析影响二者协调度时空分异的驱动因子。改进的耦合协调度模型在传统耦合协调模型基础上增加了时间上的动态变化差异，提升了系统的整体性。为西北干旱区绿洲土地利用隐性形态和土地生态安全协调发展提供研究新思路。但考虑到数据收集的限制，在构建土地利用隐性形态和土地生态安全评价指标体系时存在主客观误差性，一定程度上影响到分析结果的精确性。今后可针对这些问题进行深入探讨，也可对二者协调发展进行预测模拟，对土地利用隐性形态和土地生态安全体系进行更完整的研究，促进干旱区绿洲绿色发展。

4 结 论

基于伊犁河谷2005—2020年相关数据，对2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全进行综合分析，并探讨二者的耦合协调发展状况，分析伊犁河谷土地利用隐性形态和土地生态安全发展水平协调发展的驱动因素，具体结论如下：

（1）2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态指数总体上缓慢提升，在研究期内具有阶段性。经济规模大、社会产业结构转型快的县市土地利用隐性形态更为高级，呈现以伊宁市为中心，逐渐向四周降低的发展态势。

（2）2005—2020年伊犁河谷土地生态安全综合水平表现为波动增长趋势。在不同的阶段，土地生态安全综合水平与土地利用隐性形态变化高度相关，随着国家逐渐重视经济与生态平衡发展，注重生态可持续发展，土地生态安全水平渐有提高。

（3）2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全为高耦合关系。其耦合协调度为缓慢提升的态势，由总体失调向协调发展，但整体上耦合协调度不高，这也说明2005—2020年伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全处于矛盾发展过程。

（4）伊犁河谷土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调度受多因素影响。原因在于土地社会经济功能、人类活动和土地自身生态环境状况，对土地利用隐性形态转型有直接推动作用，并作用与土地生态安全，对推动协调发展水平起重要作用。

参考文献（References）：

[1] Pandit S, Shimada S, Dube T. Comprehensive analysis of land use and cover dynamics in Djibouti using machine learning technique: A multi-temporal assessment from 1990 to 2023[J]. Environmental Challenges, 2021, 15: 1-11.

[2] Philip A, Simon B. Smallholder farmers' perceived effects of land use and cover change on provisioning ecosystem services in the savannah ecological zone of Ghana[J]. NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences, 2023, 95(1): 48-55.

[3] Zou Yi, Meng Jijun, Zhu Likai, et al. Characterizing land use transition in China by accounting for the conflicts underlying land use structure and function[J]. Journal of Environmental Management, 2023, 349: 1-11.

[4] Wang Huihui, Xue Hanyu, Yang Yunsong, et al. Multi-scenario simulation and eco-environmental effects analysis of land use/cover change in China by an integrated Cellular Automata and Markov Model[J]. Land, 2024, 13(4): 520.

[5] 王鹏, 秦思彤, 胡慧蓉. 近30 a拉萨河流域土地利用变化和生境质量的时空演变特征[J]. 干旱区研究, 2023, 40(3): 492-503. [Wang Peng, Qin Sitong, Hu Huirong. Spatiotemporal evolution of land use change and habitat quality in the Lhasa River Basin during the past 30 years[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(3): 492-503.]

[6] 林坚, 刘芳圣, 安芃霏, 等. 2022年土地科学研究重点进展评述及2023年展望——土地资源利用与空间规划分报告[J]. 中国土地科学, 2023, 37(4): 131-140. [Lin Jian, Liu Fangsheng, An Pengfei, et al. Progress review on land science research in 2022 and prospects for 2023—The sub-report on land resources use and spatial planning[J]. China Land Science, 2023, 37(4): 131-140.]

[7] 蒲佳豪, 陈松林, 杜峯屹. 2000—2020年福建省土地利用隐性转型的影响因素[J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 402-411. [Pu Jiahao, Chen Songlin, Du Fengyi. Influencing factors of land use recessive transformation in Fujian Province from 2000 to 2020[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 402-411.]

[8] Biłozor A, Cieślak I, Czyża S, et al. Land-use change dynamics in areas subjected to direct urbanization pressure: A case study of the city of Olsztyn[J]. Sustainability, 2024, 16(7): 1-20.

[9] Gupta P, Shukla D P. Demi-decadal land use land cover change analysis of Mizoram, India, with topographic correction using machine learning algorithm[J]. Environmental Science Pollution Reearchs, 2024, 31: 30569-30591.

[10] Jabbar M, Nasar-U-minallah M, Yusoff M M. Predicting the impact of land use changes on thermal environment in Lahore, Pakistan: Implications for urban planning[J]. Geography, Environment, Sustainability, 2024, 17(1): 95-109.

[11] Biney E, Forkuo E F, Poku-Boansi M, et al. A comprehensive analysis and future projection of land use and land cover dynamics in a fast-growing city: A case study of Sekondi-Takoradi metropolis, Ghana[J]. Scientific African, 2024, 24: 2468-2276.

[12] 宋家鹏, 陈松林. 福建省土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调分析[J]. 水土保持研究, 2020, 27(4): 301-307. [Song Jiapeng, Chen Songlin. Coupling relationship and coordination between recessive land use morphology and land eco-security in Fujian province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(4): 301-307.]

[13] 张玥, 代亚强, 陈媛媛, 等. 土地利用隐性转型与土地利用碳排放空间关联研究[J]. 中国土地科学, 2022, 36(6): 100-112. [Zhang Yue, Dai Yaqiang, Chen Yuanyuan, et al. The study on spatial correlation of recessive land use transformation and land use carbon emission[J]. China Land Science, 2022, 36(6): 100-112.]

[14] 周贵鹏, 龙花楼, 戈大专, 等. 耕地利用隐性形态三维测度及其地域类型研究——以黄淮海地区为例[J]. 地理研究, 2024, 43(1): 180-199. [Zhou Guipeng, Long Hualou, Ge Dazhuan, et al. Study on three-dimensional measurement of recessive form of cultivated land use and its regional types: A case study of Huang-Huai-hai Region[J]. Geographical Research, 2024, 43(1): 180-199.]

[15] 乔伟峰, 柴逸贝, 王佳炜, 等. 大都市郊区旅游型乡村土地利用转型过程与机理分析——以南京市郊佘村为例[J]. 地理科学进展, 2024, 43(6): 1060-1073. [Qiao Weifeng, Chai Yibei, Wang Jiawei, et al. An analysis of the process and mechanism of land use transformation in tourism-oriented rural areas on the outskirts of metropolis: A case study of She Village in Nanjing[J]. Progress in Geography, 2024, 43(6): 1060-1073.]

[16] 吴艳霞, 邱乐. 黄河流域土地生态安全时空演化分析及预测[J]. 水土保持研究, 2024, 31(4): 258-265. [Wu Yanxia, Qiu Le. Temporal and spatial evolution analysis and prediction of land ecological security in the Yellow River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(4): 258-265.]

[17] 刘志有, 曲秀武, 魏冉, 等. 生态文明视角下的伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 137-143. [Liu Zhiyou, Qu Xiuwu, Wei Ran, et al. Evaluation of land ecological security and diagnosis of obstacle factors for oasis land in Yili River Valley from perspective of ecological civilization[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 137-143.]

[18] Airiken M, Zhang F, Chan N W, et al. Assessment of spatial and temporal ecological environment quality under land use change of urban agglomeration in the North Slope of Tianshan, China[J]. Environment Science Pollution, 2022, 29(8): 12282-12299.

[19] Jahanishakib F, Salmanmahiny A, Mirkarimi S H, et al. Hydrological connectivity assessment of landscape ecological network to mitigate development impacts[J]. Environment Manage, 2021, 296: 113-169.

[20] 韩琭, 陶德鑫, 史鲁彦. 黄河流域两大区域的土地生态安全动态评价及比较[J]. 水土保持学报, 2024, 38(1): 255-266, 277. [Han Lu, Tao Dexin, Shi Luyan. Dynamic evaluation and comparison of land ecological security in the two regions of the Yellow River Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(1): 255-266, 277.]

[21] 张艳, 胡征南, 周浩浩, 等. 黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 258-267, 350. [Zhang Yan, Hu Zhengnan, Zhou Haohao, et al. Spatial and temporal distribution characteristics on land ecological security along main stream of Yellow River in Shaanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 258-267, 350.]

[22] 王一山, 张飞, 陈瑞, 等. 乌鲁木齐市土地生态安全综合评价[J]. 干旱区地理, 2021, 44(2): 427-440. [Wang Yishan, Zhang Fei, Chen Rui, et al. Comprehensive ecological security assessment: A case study of Urumqi City[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(2): 427-440.]

[23] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254. [Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243-1254.]

[24] Robert Costanza. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.

[25] 汪伦焰, 蒋赞美, 李慧敏, 等. 河南省城市化与生态环境耦合协调状态的时空格局[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 311-318. [Wang Lunyan, Jiang Zanmei, Li Huimin, et al. Spatial and temporal pattern of urbanization and ecological environment coupling coordination in Henan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 311-318.]

[26] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等. 国内耦合协调度模型的误区及修正[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810. [Wang Shujia, Kong Wei, Ren Liang, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(3): 793-810.]

[27] 邓郴宜, 万勇. 长三角产城融合水平测度、时空特征及驱动因素——基于修正后耦合协调度模型的研究[J]. 城市发展研究, 2023, 30(6): 18-24. [Deng Chenyi, Wan Yong. The level and features of Industry-City integration level in the Yangtze River Delta: Based on the modified coupled coordination model[J]. Urban Development Studies, 2023, 30(6): 18-24.]

[28] 王锐, 祝笑笑, 彭艳艳, 等. 2000—2020年黄河流域水-能源-粮食系统耦合协调时空演变特征[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 354-362. [Wang Rui, Zhu Xiaoxiao, Peng Yanyan, et al. Spatio temporal characteristics of water-energy-food coupling coordination in the Yellow River Basin in the period from 2000 to 2020[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 354-362.]

[29] 徐君, 贾倩. 基于灰色关联分析的江苏省海绵城市建设影响因素分析[J]. 生态经济, 2021, 37(1): 83-89. [Xu Jun, Jia Qian. An analysis of factors influencing Sponge City construction in Jiangsu Province based on grey correlation analysis[J]. Ecological Economy, 2021, 37(1): 83-89.]

Coordination characteristics between land use implicit forms and land ecological security in Xinjiang oasis: The Ili River Valley as a case study

HAO Panpan, LIU Zhiyou

(School of Public Management (Faculty of Law), Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: The Ili River Valley, as a representative region of arid oases, serves as a crucial ecological safeguard area for maintaining the ecological security of land in Xinjiang. The coordination between land use and land ecological security holds significance for the sustainable development of the region. Based on remote sensing image data from 2005, 2010, 2015, and 2020, this study utilized comprehensive index models, and improved coupling coordination and gray relational degree models to investigate the spatio-temporal characteristics of the implicit forms of land use and the coupling coordination features with land ecological security in the Ili River Valley. The results indicate that: (1) The implicit forms of land use index exhibited a “w” shaped variation from 2005 to 2020, showing a gradual overall increase. It generally appeared to develop with Yining City as the center, radiating outwards with reduced intensity. (2) The comprehensive level of land ecological security showed a fluctuating growth trend from 2005 to 2020, closely correlated with changes in implicit forms of land use. (3) There was a high coupling relationship between the implicit forms of land use and land ecological security from 2005 to 2020. The level of coupling coordination gradually enhanced, with the central cities exhibiting higher coordination than the peripheral ones. (4) The coupling coordination between implicit forms of land use and land ecological security was mainly influenced by factors such as land output benefits, land development intensity, changes in land property rights, and ecological environment. It is imperative to comprehensively analyze the historical and future trends of implicit forms of land use and land ecological security, propose tailored strategies, and further enhance the level of land ecological security. This can accelerate the development of a green ecological economy and advance the construction of ecological civilization.

Keywords: land use implicit forms; land ecological security; coupling coordination; Ili River Valley